# (٤) القسم الثالث : الفيزياء والدنيا

على مر العصور لعبت الفيزياء دوراً بارزاً فى تطوير الحياة على كوكب الأرض. وأمكن الاستفادة من تغيير الظواهر الطبيعية بطرق فيزيائية عن طريق التدخل الخارجى فى العديد من الثورات التكنولوجية التى غيرت نمط الحياة المعاصرة للإنسان. على سبيل المثال، عندما اكتشف الفيزيائيون طاقة البخار تم ابتكار الآلة البخارية التى استخدمت فى القطارات، وفى تشغيل المصانع، مما ساهم فى توفير الوقت والجهد فى ذلك الحين، كما كان لاكتشافات العالم «اسحاق نيوتن» لقوانين الحركة والجاذبية بالغ الأثر على تغيير الفكر العسكرى الاستراتيجى خاصة بعد تصنيع المدافع المختلفة وحسم المعارك. وكذلك أمكن دراسة الظواهر الفلكية وحركة الكواكب بطرق فيزيائية حديثة، وأيضاً كان لفهم حركة الغازات والموائع وتطوير فيزياء الديناميكا الحركة، بالغ الأثر فى تصنيع الثلاجات ووسائل التبريد ، مما ساهم فى حفظ المواد الغذائية.

وعن طريق تطوير الفيزياء السمعية ونظريات إنتشار الموجات الصوتية وتضمينها فى الأوساط المختلفة أمكن تطوير وسائل الاتصال مثل التلغرافات والتليفونات.

وشهد القرن العشرون ثلاث ثورات فيزيائية كبرى هى :

أولاً : اكتشاف نظريات ميكانيكا الكم، التى تعنى أساساً بدراسة حركة الأجسام الدقيقة التى لاترى بالعين المجردة. وبذلك أمكن للفيزيائيين دراسة التركيب الدقيق للذرات فى المواد المختلفة، وكذلك أمكن تفجير طاقاتها الكامنة عن طريق الإنشطار الذرى للذرات الثقيلة وما يصاحبها من انبعاث طاقة نووية هائلة ذى قدرة تدمير شاملة على المنشآت والكائنات الحية فى آن واحد. وأدى ذلك إلى ابتكار الجيل الأول لتكنولوجيا القرن العشرين المتمثلة فى صناعة المفاعلات بغرض استخدامها فى الأغراض المدنية والعسكرية، حيث يمكن استعمالها فى توليد الطاقة الكهربائية وتصنيع النظائر المشعة التى تستخدم فى المجالات الطبية والزراعية والبيولوجية.

ثانياً : اكتشاف الخصائص الفيزيائية لمواد أشباه الموصلات وما صاحبها من ابتكار الجيل الثانى لتكنولوجيا القرن العشرين وتصنيع الإلكترونيات الدقيقة والدوائر المتكاملة التى تحتوى على عدد كبير من الترانزستورات والثنائيات الكهربية، علاوة على أعداد من المكثفات والملفات والمقاومات الكهربائية مما ساهم فى تطوير الصناعات الإلكترونية المسموعة والمرئية، وفى مجال الاتصالات

والأقمار الصناعية، وأيضاً فى ابتكار أجهزة الكمبيوتر المختلفة مما أدى إلى ثورة الاتصالات والمعلومات التى نشهدها اليوم.

ثالثاً : الربط بين المادة والضوء التى أدت إلى توليد أشعة الضوء المميزة التى سميت «بالليزر» وما تبعها من ابتكار الجيل الثالث للتكنولوجيا البصرية فى القرن العشرين والتى تستخدم فى العديد من التطبيقات الطبية والزراعية والصناعية والعلوم الأساسية والعسكرية، وفى مجال الطاقة والاتصالات.. إلى آخره.

فيما يلى سوف نستعرض الدور البارز للفيزياء فى تطوير الجيل الأول للتكنولوجيا فى القرن العشرين.

## ١٤ـ ) الفيزياء والجيل الأول للتكنولوجيا :

**• الطاقة النووية:**

بدءاً ذى بدء، الطاقة النووية هى تلك الطاقة التى تحرر أثناء عمليات إنشطار أو إندماج النووى فى الذرات المختلفة. ومن المعروف أن الطاقة لأى نظام فيزيائى أو كيميائى تعطى القدرة على بذل شغل أو انبعاث حرارة أو إطلاق اشعاع. ودائماً تخضع الطاقة الكلية للنظام لقانون البقاء، ويمكن تحويلها من صورة إلى صورة أخرى مثل الطاقة الشمسية أو الحرارية أو الكهربية... إلى آخره.

وحتى القرن الثامن عشر اعتمد الإنسان على الأخشاب كوقود، حيث تختزن الطاقة الشمسية فى النباتات خلال حياتها. ومنذ الثورة الصناعية اتجه الإنسان إلى المحروقات مثل الفحم والبترول وهما أيضاً مشتقات من الطاقة الشمسية. وعندما يحترق الفحم فإن ذرات الهيدروجين تتحد مع ذرات الكربون فى الهواء وينتج عن ذلك تكون الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون مع ابتعاث طاقة حرارية تعادل ١,٦ كيلووات لكل ساعة لكل واحد كيلوجرام من الفحم.

**(أ) الفيزياء الذرية** : مع تطوير ميكانيكا الكم تمكن الفيزيائيون من دراسة مكونات الذرة وتفجير طاقاتها الكامنة.

ومن المعروف أن الذرة تتكون من نواة صغيرة (قلب الذرة) ذات شحنة موجبة وتتركز فيها كتلة الذرة، ويحوم حولها بعض الإلكترونات (ذوى الشحنة السالبة) فى مدارات خاصة. وتحتوى النواة على عدد من النويات الدقيقة بعضها متعادل كهربائياً ويسمى «بالنيوترونات»، والبعض الآخر مشحون بشحنة موجبة ويسمى «بالبروتونات»، وتسمى النيوترونات والبروتونات فى النواة «بالنيكلونات» التى ترتبط مع بعضها بفعل تأثير القوة النووية الشديدة. هذه القوة أكبر بكثير من القوة الكهربائية التى تربط الإلكترونات بالنواة فى الذرة.

والعدد الكتلى يرمز بالرمز "A" ويمثل عدد النيكلونات فى النواة، أما العدد الذرى "Z" فيمثل عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) فى النواة، ويساوى أيضاً عدد الإلكترونات بالذرة، ولذلك تكون الذرة متعادلة كهربياً. ويرمز للذرات المختلفة بالرمز ${}^{A}X_{Z}$ للتمييز بينها، حيث يرمز الحرف X لنوع العنصر مثل ${}^{235}U_{92}$ الذى يمثل عنصر اليورانيوم - ٢٣٥. والجدير بالذكر أن مقدار شحنة الإلكترون يساوى مقدار شحنة البروتون وهو ١,٦ × ١٠ $^{-١٩}$ كولوم. وتقدر كتلة الإلكترون $\frac{١}{١٨٤٠}$ مرة من مقدار كتلة البروتون (كتلة البروتون تساوى ١,٦٧ × ١٠ $^{-٢٧}$ كيلوجرام).

وتعتبر طاقة الترابط فى النواة مقياس لتماسك النيكلونات معاً بواسطة القوى النووية.

وتمثل طاقة الترابط لكل نيكلون مقدار الطاقة اللازمة لإزالة واحد نيوترون أو واحد بروتون من النواة.

وبالطبع تعتمد طاقة الترابط على مقدار العدد الكتلى. ولذلك تؤدى عملية الاندماج بين نوى الذرات الخفيفة وإنتاج نوى لعناصر ثقيلة (أو عملية إنشطار نوى العناصر الثقيلة وإنتاج نوى أخف منها) إلى انبعاث مقدار محدد من طاقة الترابط.

وعادة تقاس الطاقة النووية بوحدات ملايين من الإلكترون فولت (MeV). على سبيل المثال عندما تندمج نواتين من نظائر عنصر الهيدروجين الثقيلة كالدبوتيريوم أو التريتيوم ينتج عن التفاعل نواة عنصر نظير الهليوم - ٣ مع انبعاث طاقة نووية مقدارها ٣,٢ MeV. هذه الطاقة تكافئ ٥,١ × ١٠ $^{-١٣}$ جول (أى ١,٢ × ١٠ $^{-١٣}$ سعر حرارى). أما فى حالة الإنشطار النووى مثل إنشطار نواة عنصر اليورانيوم ٢٣٥ بواسطة امتصاص نيوترون ينتج عن التفاعل نواتين لعنصر السيزيوم - ١٤ وعنصر الروبيديوم - ٩٣ وانبعاث عدد ثلاثة نيوترونات وكذلك انطلاق طاقة مقدارها 200 MeV.

**(ب) طاقة الإنشطار النووى** : من الناحية العملية يعتبر الإنشطار النووى ذو أهمية كبرى لتوليد الطاقة النووية. نظراً لأن الطاقة المولدة لكل عملية إنشطار تكون كبيرة. على سبيل المثال ينبعث طاقة تقدر بحوالى ١٨,٧ مليون إلكترون فولت فى الساعة من الحرارة لكل واحد كيلوجرام من عنصر اليورانيوم - ٢٣٥. كما أن عملية الإنشطار النووى يمكن تحفيزها عن طريق نيوترونات الامتصاص. ويصاحب عملية الانشطار انبعاث نيوترونات جديدة تعمل على تحفيز عمليات

انشطارية جديدة.. وهكذا ينشأ التفاعل المتسلسل الانشطارى الذاتى والنوى ينتج عنه طاقة نووية مستمرة.

والجدير بالذكر أن عنصر اليورانيوم له نظيرين هما اليورانيوم -٢٣٥ النشط والقابل للانشطار، واليورانيوم -٢٣٨ الخامل وهو غير قابل للانشطار. وعنصر اليورانيوم الخام فى الطبيعة يحتوى على مقدار ضئيل لايتعدى ٠,٧١٪ من اليورانيوم -٢٣٥ النشط. واحتمال حدوث انشطار نووى لعنصر اليورانيوم ٢٣٥ يحتاج إلى توفير طاقة للنيوترون المخفز تقدر بـ 1 MeV. عن طريق التحكم فى طاقة النيوترونات بواسطة بعض المهدئات مثل غاز الهيدروجين أو الكربون يمكن إنتاج طاقة نووية انشطارية عالية. هذه الحقيقة، هى الأساس فى عمل المفاعلات النووية الإنشطارية لإنتاج الطاقة النووية.

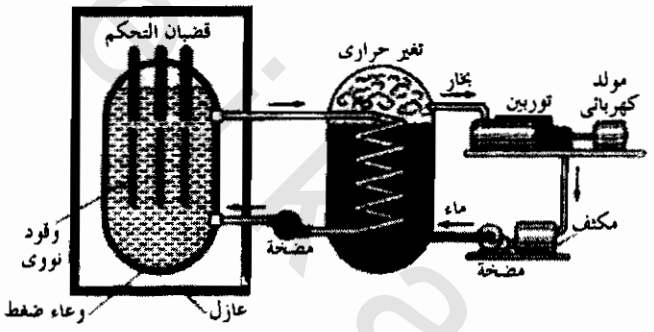
وقد نجح الفيزيائى الإيطالى «انريكو فيرمى» عام ١٩٤٢م فى جامعة شيكاغو الأمريكية من إنتاج أول تفاعل نووى متسلسل. وتم ذلك عن طريق ترتيب عنصر اليورانيوم المتعادل وتوزيعه خلال ألواح من الجرافيت (نوع من الكربون) الذى يعمل كمهدئ لخفض سرعة النيوترونات.

**(ج) المفاعلات النووية** : عام ١٩٤٤م، تم بناء أول مفاعل نووى كبير فى هانفورد بواشنطن بالولايات المتحدة الأمريكية بغرض إنتاج مواد تستخدم فى تصنيع الأسلحة النووية. وكان الوقود النووى المستخدم هو اليورانيوم والمهدئ هو الجرافيت.

## مفاعلات الماء الثقيل والماء الخفيف

هناك العديد من أنواع المفاعلات النووية الإنشطارية التى تختلف فيما بينها باختلاف الوقود النووى والمهدئات ونوع التبريد المستخدم. وقد تم تشييد هذه المفاعلات فى أنحاء العالم بغرض توليد الطاقة الكهربية. وفى الولايات المتحدة الأمريكية مع بعض الاستثناءات تعتمد فى تشغيل المفاعلات على أكسيد اليورانيوم كوقود نووى والذى يحتوى على نسبة ٣٪ من عنصر اليورانيوم -٢٣٥ النشط. والمهدئ والمبرد المستخدم فى هذه المفاعلات عادة يكون الماء عالى التقطير. هذا المفاعل يسمى «مفاعل الماء الخفيف» Light Water Reactor "LWR". وأحد هذه المفاعلات يعرف بمفاعل الماء المضغوط، ويعتمد على الماء الخفيف كمبرد عند ضغط ١٥٠ ضغط جوى. فى هذه الحالة ينضغط الماء خلال قلب المفاعل، حيث يسخن عند درجة حرارة حوالى ٣٢٥°م. والماء فائق التسخين يضخ خلال مولد البخار حيث تستبدل الحرارة مع مسار مائى آخر الذى يتحول بدوره إلى بخار يقوم بتشغيل تربينات كهربية. وعندما يبرد الماء ويكثف يضغط

مرة أخرى فى مولد البخار.. وهكذا. فى هذه العملية يجب عزل المسار المائى الثانوى من قلب المفاعل حتى لايصبح الماء مشعاً. كما يجب توفير مسار مائى ثالث عن طريق مصادر طبيعية فى البحيرات أو الأنهار تستخدم عن طريق أبراج التبريد فى تكثيف بخار الماء. وعادة تكون أبعاد وعاء الضغط فى المفاعل فى حدود ١٥ متراً (ارتفاع) × ٥ أمتار (قطر) × ٢٥سم (سمك). وتقدر سعة قلب المفاعل بـ ٨٢ طن حجمى من أكسيد اليورانيوم.




مفاعل الماء الخفيف

ويوجد نوع آخر من المفاعلات يسمى «مفاعل الماء المغلى» وهو النوع الثانى من مفاعلات الماء الخفيف، وتعمل هذه المفاعلات عند ضغط منخفض نسبياً.

ويستخدم فيها بخار الماء مباشرة لتشغيل التوربينات، وبعد تكثيف الماء يعاد مرة أخرى إلى قلب المفاعل.

وبالرغم أن البخار فى هذه المفاعلات يكون مشعاً، إلا أنه لايوجد وسيط حرارى بين المفاعل والتوروبين، الذى يخفض كفاءة المفاعل. وكما هو الحال فى مفاعل الماء المضغوط، يحتاج هذا المفاعل إلى توفير خزانات صائبة بالقرب من مصادر مائية طبيعية، كالبحيرات أو الأنهار. وتستخدم أجهزة إنذار مبكر تبين المنسوب الحرارى والتدفق المائى بالمفاعل. ويمكن التحكم بالقدرة الناتجة بواسطة قضبان التحكم التى تعمل على امتصاص النيوترونات فى قلب المفاعل.

والجدير بالذكر أنه فى حالة المفاعلات الكبيرة التى تعمل بقوة ١٠٠٠ جيجاوات تتولد من وحدات الكورىّ. وينبعث هذا الاشعاع أثناء تشغيل المفاعل أو بعد غلقه. ولذلك تستخدم مصدات أسمنتية لامتصاص الأشعة النووية، توضع حول المفاعل. كما يجب أخذ احتياطات الأمان التى تشمل نظم التبريد لقلب

المفاعل لمنع حدوث التسخين الفائق له. وفى هذه الحالة يُستخدم الأسمنت المسلح لمنع انتشار العناصر المشعة التى تهرب عند حدوث أى تسرب ممكن.

وطبقاً لإحصائية أمريكية تبين أن ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية فى الولايات المتحدة الأمريكية تولد بواسطة المفاعلات النووية، بينما فى فرنسا تستخدم المفاعلات النووية فى إنتاج ٧٥٪ من الطاقة الكهربائية بها.

وهناك أنواع عديدة من المفاعلات النووية الصغيرة التى تشيدها بعض الدول من أجل أغراض التعليم والتدريب وإنتاج النظائر المشعة. هذه المفاعلات تعمل بقدرة ١ جيجاوات ويمكن تشغيلها وغلقها بسهولة بالمقارنة بالمفاعلات النووية الكبيرة. كما اهتمت بعض الدول المتقدمة ببناء المفاعلات التى تستخدم فى تشغيل حاملات الطائرات والغواصات.

د ) **الوقود النووى والنفايات النووية** : يعتبر توليد الطاقة الكهربية جزءاً واحداً فى دورة الطاقة الكلية. ودورة وقود اليورانيوم المستخدم فى نظم مفاعلات الماء الخفيف المنتشرة فى العالم تشمل عدة مراحل، تبدأ بعملية استخراج عنصر اليورانيوم فى الطبيعة الذى يحتوى على ٠,٧٪ من اليورانيوم -٢٣٥ النشط. ويمكن الحصول عليه من مناجم سطحية أو تحت الأرض. وعملية التنقيب واستخراج وشحن اليورانيوم تواجه صعوبات جمة، إلا أن عنصر اليورانيوم يتواجد على صورة غازية لمركب يورانيوم هيكسافلوريد. وفى عملية تخصيب النظائر يمكن فصل عنصر اليورانيوم -٢٣٥، ويتم ذلك عن طريق تحويل غاز اليورانيوم هيكسا فلوريد إلى مسحوق أكسيد اليورانيوم الذى يوضع في أوعية سيراميكية داخل قضبان الوقود ويتم شحنها إلى محطة المفاعل.

ومن المعروف أن مفاعل الماء المضغوط بقدرة ١٠٠٠ ميجاوات يحتوى على حوالى ٢٠٠ عنصر كوقود نووى وعادة يحتاج هذا المفاعل إلى إعادة شحنه لحوالى ثلث مقدار الوقود النووى به، نظراً لاستهلاك اليورانيوم -٢٣٥ النشط والذى يتحول إلى منتجات انشطارية نووية بواسطة امتصاص نيوترونات. ومن أهم هذه المنتجات عنصر البلوتونيوم -٢٣٩.

وتسمى المنتجات الانشطارية بالنفايات النووية. وبعد اتمام عملية التبريد بالمفاعل تعبأ النفايات من العناصر المشعة فى براميل خاصة معزولة تكون قابلة للتخزين لمدة طويلة. كما يمكن معالجة هذه النفايات بطرق كيميائية وإعادة استخلاص اليورانيوم الذى لم يستخدم، وكذلك عنصر البلوتونيوم -٢٣٩ الذى

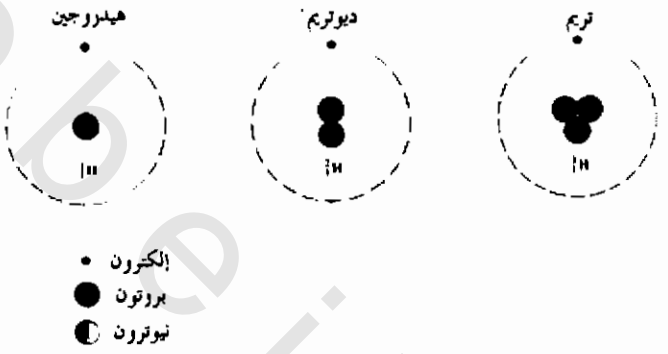
ينتج من التفاعل النووى المتسلسل. وفى حالة استخلاص عنصر اليورانيوم ٢٣٥ يمكن إعادته واستخدامه كوقود نووى بالمفاعل. أما البلوتونيوم ٢٣٩ فيستخدم عادة فى تصنيع الأسلحة النووية.

هـ ) **الأمان النووى** : تعتنى البشرية فى أنحاء المعمورة بقضايا الأمان النووى، خاصة لارتفاع منسوب الاشعاع ومخاطرة على الحياة والبيئة خاصة تلك الأشعة المصاحبة للمراحل المختلفة لدورة الوقود النووى أثناء عملية الانشطار النووى بالمفاعل. كما أن إمكانية استخدام النفايات النووية فى صنع القنابل الذرية يثير الرعب لدى كافة الشعوب.

وفى الوقت الحالى، تبذل الجهود المضنية من أجل استخدام الطاقة النووية فى المجالات الصناعية وإزالة كافة المخاطر المصاحبة عادة لمصادر الطاقة التقليدية من المحروقات كالبترول والفحم. ويتوقع الخبراء بإمكانية إنتاج الطاقة الكهربائية عن طريق المفاعلات النووية بأسعار اقتصادية بالمقارنة بما هو متبع الآن. إلا أن هناك مجموعات وجمعيات أهلية وحكومية فى العديد من الدول تعارض انتشار المفاعلات النووية، وكذلك استمرار البحوث والاختبارات عليها. وعلى رأس هذه الجمعيات مجموعة الخضر التى تأسست فى ألمانيا، وتقود حملة مستمرة من أجل إزالة كافة المفاعلات النووية والأسلحة النووية فى العالم. وتدعو للاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة من طاقة شمسية وطاقة الرياح واستخلاص الهيدروجين الحامل للطاقة... وخلافه.

و ) **الفيزياء وطاقة الاندماج النووى** : تعتبر طاقة الاندماج النووى الاختيار الوحيد كمصدر للطاقة لاينضب لفترات طويلة، وتكفى جميع الشعوب فى أنحاء العالم. وطاقة الاندماج النووى آمنة وليس لها مخاطر إشعاعية أو نفايات مضرة ملوثة للبيئة، ولاتسبب احترار الأرض. ويتوقع الخبراء أن المستقبل سوف يشهد تطوير وإنتاج هذه الطاقة بأسعار اقتصادية.

ومن المعروف لدينا أن الشمس والنجوم الأخرى تستمد قوتها من عمليات الإندماج النووى التى تحدث بها.



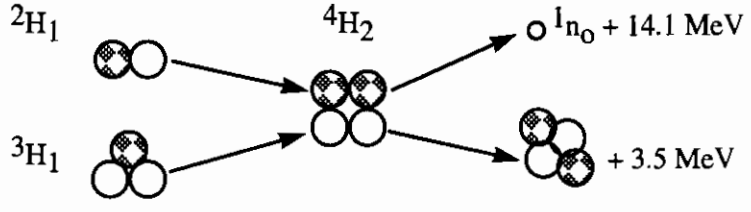

نظائر عنصر الهيدروجين

وفى الوقت الحالى يواجه العلماء مشاكل كبيرة من أجل تطوير تكنولوجيا الطاقة الإندماجية بفرض إنتاج الطاقة الكهربية بأسعار زهيدة. ولكى نوضح اهتمام العلماء من أجل تحقيق حلم البشرية فى الحصول على مصادر للطاقة النظيفة، نستعرض فيما يلى الدور البارز للفيزياء فى تطوير مفهوم الاندماج النووى :

الاندماج النووى هو عملية توحيد لنوى الذرات الخفيفة وتشكيل نوى لعناصر ثقيلة. ويصاحب هذا التفاعل النووى انبعاث كمية كبيرة من الطاقة، وفى هذه الحالة، يكون مقدار الكتلة الكلية لناتج التفاعل أقل قليلاً من مجموع كتل القوى المتفاعلة. وفرق الكتلة يتحول إلى طاقة طبقاً للعلاقة الرياضية لأينشتين :

الطاقة = (فرق الكتلة) × مربع سرعة الضوء

على سبيل المثال، فى حالة اندماج نوى عنصرى الديوتيريوم والترتيوم وهما من نظائر عنصر الهيدروجين ينتج عن ذلك تكوين نواة عنصر الهليوم -٤ ، الذى يتحلل سريعاً وينبعث نيوترون وجسيم ألفا، وكذلك طاقة مقدارها ١٧,٦ مليون إلكترون فولت



والجدير بالذكر أن الديوتيريوم $_1H^2$ متوافر فى الماء الطبيعى بنسبة ١ : ٦٠٠٠ بالنسبة للهيدروجين، كما يمكن تحضير الترقيوم $_1H^3$ من عنصر الليثيوم $_3Li^6$ .

## لماذا نطور طاقة الاندماج النووى

طبقاً لاحصائيات هيئة الأمم المتحدة، نجد أن فى منتصف القرن القادم (القرن الحادى والعشرين) سيتضاعف عدد سكان الأرض. وهؤلاء يحتاجون إلى ثلاثة أضعاف الطاقة المنتجة الآن، نتيجة للزيادة المتوقعة فى المجال الصناعى والنمو الاقتصادى.

ومن المعروف أن مصادر الوقود التقليدى من المحروقات (كالفحم والبترول والغاز الطبيعى) سوف تنضب فى فترة زمنية تقدر من ٥٠ ـ ١٠٠ عام. والاعتماد على هذه المصادر مستقبلاً سوف يزيد من تلوث البيئة واحترار الأرض بما ينذر بمخاطر جسيمة. كما أن توافر الماء كمصدر لعنصر الديوتيريوم فى المحيطات على الأرض يكفى لتشغيل المفاعلات النووية الاندماجية لملايين السنين. فى هذه الحالة تكون النفايات الناتجة من التفاعل هى غاز الهليوم الاعتيادى. ولذلك فإن تكنولوجيا الطاقة الشمسية والمتجددة سوف تلعب دوراً رئيسياً فى المستقبل.

وحالياً يهتم العلماء بمواجهة القضايا التكنولوجية لتنمية إنتاج الطاقة النووية الاندماجية خاصة بعد المشاعر السلبية وعدم الوعى لدى المواطنين التى تقاوم انتشار المفاعلات النووية الإنشطارية، لما تسببه من ارتفاع منسوب الاشعة الضارة والنفايات النووية المستخدمة فى صناعة الأسلحة النووية.

وفى الجدول التالى مقارنة لإنتاج ١٠٠٠ MW طن من الطاقة باستخدام الفحم والاندماج النووى.

| | الإندماج النووى | الفحم |
|---|---|---|
| الوقود : | $\frac{1}{2}$ Kg ديوتيريوم | ٩٠٠٠ طن فحم |
| | $1\frac{1}{2}$ Kg ليثيوم | |
| | ( $\frac{1}{2}$ Kg تريتيوم ) ≡ | |
| النفايات : | هليوم – 2 Kg | ٣٠,٠٠٠ طن ثانى أكسيد الكربون |
| | | ٦٠٠ طن ثانى أكسيد الكبريت |
| | | ٨٠ طن ثانى أكسيد النيتروجين |
| | | ١٠ كيلو جرام يورانيوم |
| | | ٢٠ كيلو جرام ثوريوم |

وتحتاج التفاعلات الإندماجية إلى أجسام متأينة ساخنة بدرجة كافية وذو كثافة مناسبة موضوعة فى مكان محكم ومحدد، وتواجد المادة فى حالة متأينة يعرف باسم «حالة البلازما»، حيث تنفصل بعض الإلكترونات عن الذرات وتتركها فى حالة تأين. ولذلك تتكون البلازما من أجسام مشحونة من الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة. ويمكن التحكم فى البلازما الساخنة بواسطة ثلاث آليات مختلفة هى:

(١) التحكم المغناطيسى وهذا يتطلب توفير مجال مغناطيسى أكبر من ١٠٠,٠٠٠ مرة ضعف المجال المغناطيسى الأرضى.

(٢) التحكم بطريقة التخميد وذلك يحتاج لتوفير أشعة ليزرية (أو جسيمات متأينة) ذات طاقة عالية.

(٣) قوة الجاذبية الشديدة وهو مايحدث فى التحكم فى تفاعل الوقود النووى على الشمس وباقى النجوم.

**مفاعل توكاماك:**

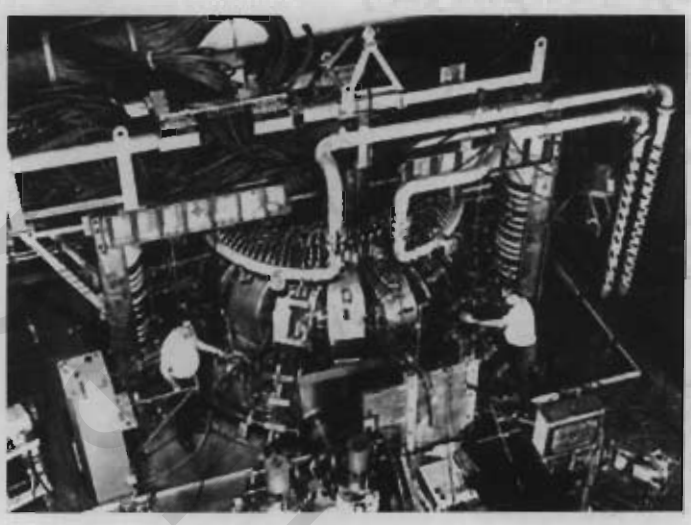
من أنجح المفاعلات الاندماجية النووية حتى الآن مفاعل توكاماك. وكلمة توكاماك مشتقة من المصطلح باللغة الروسية.

Toroid - Kamera - magnit - Katushka (Tokamak)

أى Toroidal chamber and magnetic coil

وتعنى باللغة العربية الغرفة الدائرية والملفات المغناطيسية.

ويحتاج هذا المفاعل إلى تيار كهربائى شديد فى حدود مليون أمبير يمر خلال البلازما. وتسخن البلازما إلى درجة حرارة أكثر من مائة مليون درجة مئوية (أعلى من درجة الحرارة فى قلب الشمس) بواسطة حزم من جسيمات (أو أشعة الليزر) ذوات طاقة عالية. والتحدى الذى يواجهه الفيزيائيون الآن هو كيف نصل إلى توليد طاقة إندماجية مستقرة وبمعامل كسب مرتفع. من أجل ذلك يجب تطوير فهمنا للمبادئ الفيزيائية الموثرة على الفنون التأهيلية للتكنولوجيا الدقيقة فى مفاعل البلازما. من هذه المبادئ طرق معالجة انتقال الأجسام البلازمية الساخنة والمساهمات المغناطيسية ـ الهيدروديناميكية، وكذلك تأثير تراكم جسيمات ألفا المتوالدة ذوات الطاقة العالية على حافة عدم الاستقرار. ولابد من تحسين أداء المفاعل الإندماجى وتقليل حجمه لتقليل التكاليف الباهظة للتشييد.



مفاعل توكاماك المستخدم فى دراسة البلازما فى جامعة برنستون الأمريكية

وهناك مشاكل تكنولوجيا تتعلق بأنواع المواد المستخدمة فى صناعة جدران المفاعل والتى تنشط عند تفاعلها مع النيوترونات المنبعثة أثناء عمليات الاندماج، مما يؤدى إلى تسريب الطاقة. بالإضافة إلى مشاكل التوصيل الحرارى وضرورة توفير مغناطيسيات عملاقة تولد المجالات المغناطيسية الشديدة من أجل الحصول على بلازما محكمة ومستقرة.

ومازالت الأبحاث جارية من أجل تحقيق حلم البشرية فى إنتاج الطاقة النظيفة.

## ٤-٢) الفيزياء والجيل الثانى للتكنولوجيا:

### الإلكترونيات الدقيقة:

لعبت الفيزياء دوراً هاماً فى تطوير الجيل الثانى للتكنولوجيا الذى اعتمد على التطبيقات الإلكترونية وفى شتى المجالات. وعلم الإلكترونيات هو مجال الفيزياء التطبيقية والهندسية ويعتنى بتصميم الدوائر الإلكترونية لجميع الأجهزة والمعدات. وعن طريق التحكم فى مسار الإلكترونات بهذه الدوائر يمكن إرسال واستقبال وتخزين المعلومات. وتتألف هذه الإشارات من موجات راديوية أو تليفزيونية، ويمكن تحويلها إلى إشارات رقمية يمكن التعامل معها بواسطة أجهزة الكمبيوتر.

وللدوائر الإلكترونية دوال مختلفة يمكنها إجراء العمليات المطلوبة بكفاءة عالية.

والجدير بالذكر أن بداية القرن العشرين شهد نقطة الإنطلاق للنمو المتسارع في مجال الإلكترونيات الحديثة، خاصة بعد اكتشاف أنابيب التفريغ (الصمامات) الزجاجية. هذه الأنابيب جعلت التحكم في المسار الإلكتروني ممكناً، بعد أن عانى منها أجهزة التلغراف ودوائر التليفون التقليدية، كما أمكن استخدام الصمامات الزجاجية في تكبير موجات الراديو الضعيفة، والإشارات الصوتية، كما استخدمت في دوائر التضمين الإلكتروني في محطات الإرسال الإذاعي.

وقد استخدمت تكنولوجيا الأنابيب المفرغة في مجالات عسكرية عديدة أثناء الحرب العالمية الثانية. وقد لعبت دوراً هاماً في تطوير المعدات الابتدائية لأجهزة الكمبيوتر.

وفي عام ١٩٤٨ حل الترانزستور بدلاً من أنابيب التفريغ في معظم الدوائر الإلكترونية. وكان لاكتشاف الخصائص المميزة لمواد أشباه الموصلات (في حالاتها الصلبة) وترتيبها بشكل يسمح بالتوصيلات الكهربائية، الفضل الكبير في تطوير علم الإلكترونيات الدقيقة. ومن المعروف أن الترانزستورات تتشابه مع الخواص الإلكترونية لأنابيب التفريغ، ولكنها تتميز بحجمها الصغير وقلة التكاليف وتوفير الطاقة المستهلكة وكفاءة في الأمان والدقة.

ومع تطور صناعة مواد أشباه الموصلات أمكن صناعة الدوائر الإلكترونية المتكاملة التي تحتوى على أكثر من ألف ترانزستور وقطع صغيرة من المواد تسمح بتصميم كافة الأجهزة الإلكترونية المعقدة المستخدمة في شتى الأغراض في المجالات الطبية والزراعية والصناعية ، وفي علوم الفضاء والطاقة، وفي مجال العلوم العسكرية والأقمار الصناعية والكمبيوتر.. إلى آخره..

وفيما يلي سوف نستعرض أهم العناصر الإلكترونية :

**أ) أنابيب التفريغ:**

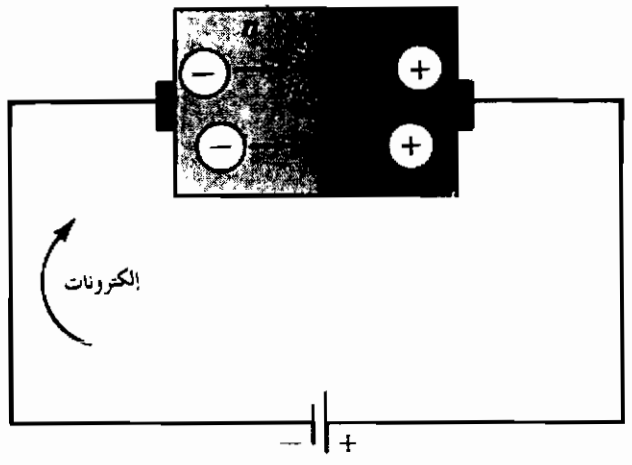
تتكون أنابيب التفريغ من وعاء زجاجي مفرغ من الهواء يحتوى على إلكترودات معدنية. وأبسط أنواع الأنابيب المفرغة ما يسمى بالصمام الثنائي «الدايود»، ويتكون من كاثود وأنود متصل بالطرف الموجب لوحدة التغذية الكهربائية، والكاثود يتكون من أنبوبة معدنية تسخن بواسطة فتيلة موضوعة أمامها. وتنتقل الإلكترونات الحرة من الكاثود في اتجاه الأنود المكون من اسطوانة معدنية حول الكاثود. ويلاحظ عند تطبيق فولتية مترددة على الانود، فإن الإلكترونات الحرة تنتقل فقط إلى الأنود خلال نصف الدورة الموجبة للتيار المتردد،

أما أثناء النصف الدورى السالب للقولتية المتردد، فإن الأنود (ذو الجهد السالب) يتنافر مع الإلكترونات (السالبة) ويطردها بعيداً، وبالتالى لايمر التيار الكهربى خلال الانبوبة. أى أن الصمام الثنائى يسمح بمرور التيار خلال نصف دورة فقط من التيار المتردد، ولذلك يسمى الصمام الثنائى أنابيب تقويم التيار والتى تستخدم فى عمليات تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر.

ويمكن التحكم فى مسار الإلكترونات الحرة عن طريق وضع شبكة من سلك معدنى حلزونى بين الكاثود والأنود داخل أنابيب التفريغ، فعند تطبيق قولتية سالبة صغيرة على الشبكة فإنها تطرد بعض من الإلكترونات الحرة بعيداً، ويصل عدد قليل منها إلى الأنود. هذه الأنابيب المفرغة تسمى «الصمامات الثلاثية». وعادة تستخدم كمكبر للإشارات القولتية، حيث إن أى تغير (مهما كان صغيراً) فى القولتية عند الشبكة تؤدى إلى تغير كبير فى الفيض الإلكترونى المتجه نحو الأنود.

**ب) الترانزستورات:**

تصنع الترانزستورات من مواد أشباه الموصلات مثل السيليكون أو الجرمانيوم (المطعمان بكمية صغيرة من الإضافات الخاصة لبعض المواد). والترانزستور يتحكم فى مسار الإلكترونات الحرة، وتتواجد مواد أشباه الموصلات ذو الوفرة فى الإلكترونات الحرة وتسمى أشباه موصلات من نوع -n ومواد أشباه موصلات أخرى شحيحة فى إلكتروناتها الحرة وتسمى أشباه موصلات من نوع -P. وبتوصيل مواد من نوع -n مع مواد من نوع -p نحصل على ثنائى (دايود) إلكترونى. فعندما يتصل الثنائى بطرفى بطارية، ويكون الطرف السالب متصل بالنوع -n والطرف الموجب متصل بالنوع -p فإن الإلكترونات المتنافرة مع الإلكترونات المتوفرة فى النوع -n تدخل المنطقة -p غير المعاوقة والتى تفتقد إلى إلكترونات، وبالتالى يسمح بمرور التيار الكهربائى.

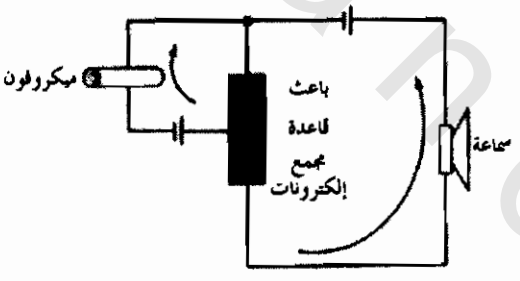



توصيل الثنائى n-p بطرفى البطارية يوضح اتجاه مرور التيار الكهربائى.

أما فى حالة عكس أقطاب البطارية، يلاحظ عدم مرور التيار نتيجة للتنافر بين الإلكترونات فى المنطقة n المملوءة بالإلكترونات الحرة. وبالتالى يصبح التيار صفراً.

وفى عام ١٩٤٧م، تم اختراع الترانزستور ثنائى الأقطاب الذى حل بدلاً من الصمام الثلاثى (فى أنابيب التفريغ).

ومن المعروف أن الترانزستور يتكون من ثلاث طبقات من مواد أشباه الموصلات على شكل P - n - P أو n - P - n . ويتصل الموصل الأول بحيث يسمح بمرور التيار (تغذية أمامية) ويتصل الموصل الآخر فى عكس الاتجاه (تغذية عكسية). فإذا تغيرت شدة التيار فى موصل التغذية الأمامية عن طريق إضافة إشارة خارجية يلاحظ تغيير فى شدة التيار فى موصل التغذية العكسية فى الترانزستور. هذا المبدأ يستخدم فى تكبير الاشارات الإلكترونية، حيث توصل الاشارات الصغيرة على موصل التغذية الأمامية ، وبالتالى تحصل على تكبير للتيار فى موصل التغذية العكسية.




استعمال الترانزستور n-p-n فى الدوائر الإلكترونية

والجدير بالذكر أن هناك نوع آخر من الترانزستورات تسمى ترانزستورات التأثير المجالى Field Effect Transisnors (FET).

هذه الترانزستورات تعمل على التحكم فى المسار الإلكترونى بها بواسطة المجال الكهربائى الخارجى. وتتم عملية التكبير بنفس الطريقة التى وردت سابقاً فى أنابيب التفريغ، ولكن بكفاءة عالية وبطريقة اقتصادية.

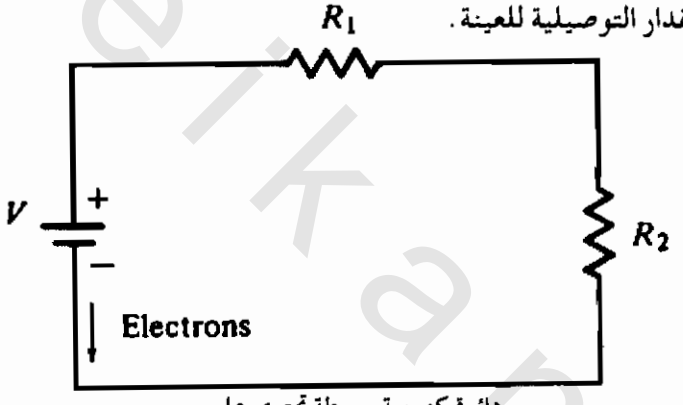
**ج) الدوائر المتكاملة:**

تتكون معظم الدوائر الإلكترونية المتكاملة من رقائق صغيرة من السيليكون ذو أبعاد $2mm^2$ - $4mm^2$. وعن طريق الحفر الفوتونى يمكن تخليق آلاف

الترانزستورات على رقيقة واحدة مكونة من مناطق عديدة من نوع -P ونوع -n وتوصيل هذه المناطق داخليا بواسطة مسارات صغيرة موصلة. هذه الدوائر المتكاملة تقلل الحجم وتوفر الطاقة وبأسعار زهيدة وتعمل بكفاءة ودقة عالية بالمقارنة بالدوائر التى يركب بها الترانزستورات المستقلة.

**د) المقاوم:**

عند توصيل البطارية عبر مواد موصلة فإن كمية محددة من التيار تمر خلال هذه المواد. وقيمة هذا التيار تعتمد على القولتية (فرق الجهد) بين طرفى البطارية وعلى أبعاد ومقدار التوصيلية للعينة.




دائرة كهربية بسيطة تحتوى على مقاومتين وبطارية.

وتستخدم المقاومات للتحكم فى شدة التيار فى الدوائر الإلكترونية. وتصنع المقاومات من مخاليط من الكربون وأغشية معدنية وأسلاك مقاومة. كما تستخدم المقاومات المتغيرة فى مفاتيح التحكم لرفع أو خفض الأصوات فى أجهزة الراديو أو التليفزيون.

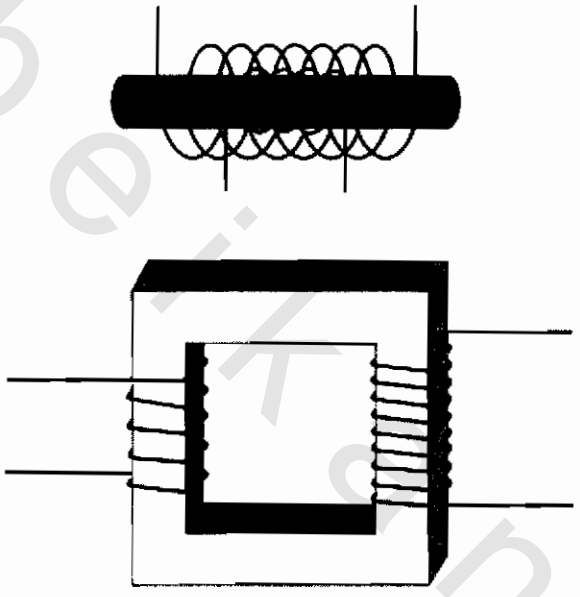
**هـ) المكثفات:**

يتكون المكثف من لوحين متوازيين موصلين يفصل بينهما مادة عازلة. وعند توصيل طرفى البطارية بهذين اللوحين، فإن الشحنات تنتقل لفترة وجيزة وتتراكم على اللوحين. وعندما تفصل البطارية يظل المكثف محتفظ بالشحنات وبالقولتية بين طرفيه. وتستخدم المكثفات كمخزن للطاقة الكهربائية.

**و) الملفات:**

تتكون الملفات من سلك موصل ملفوف على شكل حلزونى. وعند إمرار تيار كهربائى خلال الملف يتولد مجال مغناطيسى حوله. هذا المجال يعمل على تغيير شدة التيار الكهربائى عن طريق ما يسمى «بالحث المغناطيسى». والملف مثل المكثف كلاهما يستخدم بالاستدلال والتمييز السريع للتغيير بين الاشارات

السريعة أو الإشارات البطيئة. وعندما يتصل الملف مع المكثف بالدائرة الكهربائية، فإن شدة التيار تصل إلى قيمة عظمى عند تردد محدد يسمى «تردد الرنين». هذا المبدأ يستخدم فى مستقبلات موجات الراديو والتليفزيون، حيث يمكن انتخاب التردد بواسطة مكثف متغير.




(أ) ملف من سلك موصل ملفوف على شكل حلزونى
(ب) محول كهربائى بسيط يتكون من ملفين من السلك

### ز) الناقلات وأجهزة الاستشعار:

يتم قياس الكميات الفيزيائية الميكانيكية والحرارية والكهربية والتركيزات الكيميائية بواسطة أجهزة الاستشعار (الناقلات أو الترانسوديوسرات). والمستشعر يكون حساساً لأى تغير يحدث فى الكميات المراد قياسها. ويعتمد ذلك على سبيل المثال على الموقع ودرجة الحرارة والتركيزات الكيميائية. أما الترانسوديوسر فيحول تلك القياسات إلى اشارات كهربائية يمكن تكبيرها لتغذية أجهزة القراءة والتسجيل أو التحكم للاستدلال عن الكميات المقاسة. وعادة تستخدم أجهزة الاستشعار فى المواقع التى لايمكن أن يصل إليها الإنسان ويمكن التحكم بها عن بعد.

على سبيل المثال، جهاز المزدوج الحرارى يتكون من سلكين موصلين مصنوعين من مواد مختلفة. هذان السلكان يولدان فولتية كهربية صغيرة بينهما عندما

تتغير الحرارة بين السلكين. وأيضاً جهاز الثرميثتور وهو مقاوم للتغيير فى درجة الحرارة. والمقاوم المتغير يحول التحركات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية. والمكثفات الخاصة تستخدم لقياس المسافات، كما تستخدم الخلايا الفوتوفولتية لرصد الضوء. وهناك مستشعرات لقياس سرعة الأجسام والعجلة وتدفق الموائع. وفى جميع الأحوال تكون الإشارات الكهربائية الناتجة ضعيفة وتحتاج إلى مكبرات الكترونية.

**ن) دوائر التغذية الكهربائية:**

معظم الأجهزة والمعدات الإلكترونية تحتاج إلى فولتية (فرق جهد) لتشغيلها. ويمكن توفير هذه الطاقة عن طريق البطاريات الجافة باهظة التكاليف أو بواسطة دوائر التغذية الكهربائية التى تعمل لتحويل التيار المتردد الموجود فى المخارج الكهربية بالمنازل إلى تيار مستمر يغذى الأجهزة والمعدات الإلكترونية بالطاقة اللازمة لتشغيلها.

وتتكون دوائر التغذية الكهربية من محول كهربائى يستخدم فى رفع أو خفض المنسوب الفولتى إلى المستوى المناسب ويحاط المحول بعوازل كهربائية للحماية من مخاطر الجهد العالى وتسرب الكهرباء.

ويفضل المحول بدوائر تقويم التيار المتردد وعادة تتكون من ثنائيات كهربائية (دايودات) مصنوعة من مواد أشباه الموصلات. ثم تستخدم مرشحات من المكثفات والملفات لمنع التذبذب والعمل على استقرار التيار المستمر الناتج. وكلما زادت سعة المكثفات كلما صغرت كمية التذبذب فى الفولتية، ويستخدم منظم للجهد للتحكم فى منسوب الفولتية، ويتكون هذا المنظم من «زينر - دايود». وفى الوقت الحالى تستخدم الدوائر المتكاملة فى هذا الغرض.

**ل) دوائر التكبير:**

تستخدم المكبرات الإلكترونية لزيادة الفولتية أو شدة التيار أو القدرة الكهربائية للإشارات الكهربائية. وهناك نوعان من المكبرات هما :

**(١) المكبرات الخطية** : وتكون الإشارة الخارجة متناسبة مع الإشارة الداخلة وبأقل قدر من التشويه.

**(٢) المكبر غير الخطى** : تعمل على تغيير الشكل الموجى للإشارات الداخلة.

وهناك مكبرات سمعية تتواجد فى أجهزة الراديو والتليفزيون والمسجلات، وتعمل عادة عند ترددات أقل من ٢٠ كيلوهرتز (١ كيلو هرتز = ١٠٠٠ دورة / ثانية). هذا المكبر يرفع من شدة الإشارات الكهربائية وتحويلها إلى أصوات

فى السماعات. وعادة تصنع مكبرات التشغيل من دوائر متكاملة مكونة من مراحل متعددة من المكبرات الخطية، أما مكبرات الفيديو فتعمل فى مدى ترددى يبدأ من ٦ جيجا هرتز (١ جيجا هرتز = مليون دورة / ثانية)، والإشارات المكبرة تحمل المعلومات المرئية التى يمكن تطبيقها على شاشات التليفزيون. كما يمكن لهذه المكبرات التحكم بشدة الإستضاءة عن طريق تنظيم السعة القولتية. ومكبر الفيديو يعمل بمعامل تشوه منخفض، كما يوجد مكبر التردد الراديوى، الذى يستخدم فى نظم الاتصالات وأجهزة الرادار وتعمل فى مدى ترددى بين ١٠٠ كيلوهرتز إلى ١ جيجا هرتز. ويمكن أن تعمل فى مدى الموجات الدقيقة.

**ك) المذبذبات:**

يتكون المذبذب من مكبر كهربائى ودائرة التغذية المرتجعة. وتتكون الدائرة من ملفات ومكثفات متغيرة السعة.

وتستخدم المذبذبات فى دوائر التليفونات الحديثة ذوات مفاتيح الضغط التى تخدم فى السنترالات الإلكترونية، وفى ساعات التنبيه وأجهزة الراديو وفى أجهزة الكمبيوتر ونظم الإنذار.

**ب) دوائر التحويل والتحكم:**

هى دوائر منطقية تستخدم فى أجهزة الأقمار الصناعية والكمبيوتر والأجهزة التليفونية.

والجدير بالذكر أن تطور الدوائر المتكاملة قد أدى إلى ثورة فى مجال الاتصالات والمعلومات، بالإضافة إلى المميزات الفريدة لهذه الدوائر من حيث خفض التكاليف وتقليل حجم الأجهزة ورفعت من كفاءة الأجهزة وعمرها الافتراضى. فنرى الآن اعتماد المحولات الرقمية والعمليات الحسابية والألعاب الإلكترونية على وحدة «الميكروبروسسور» وهى إحدى الدوائر المتكاملة. وبذلك شهدت الأجهزة الإلكترونية تطورات هائلة شملت إمكانية ترقيم الإشارات السمعية وتشفيرها بالمعلومات عن طريق التضمين الموجى، وأمكن تسجيل واستعادة الإشارات الإلكترونية بطرق رقمية مما أدى إلى تطوير أجهزة الفيديو والتليفزيون الرقميين. أما فى مجال الإلكترونيات الطبية أمكن تطوير أجهزة التشخيص والعلاج، على سبيل المثال تطورت أجهزة التصوير باستخدام الأشعة السينية والتحكم بها بواسطة الكمبيوتر. كما أمكن التمييز بين العمليات البيولوجية والهندسة الوراثية وأيضاً فى مجال المناظير الطبية.

ومن المتوقع خلال العقد الأول من القرن الحادى والعشرين ظهور دوائر التوصيل الفائق بدلاً من دوائر أشباه الموصلات التى ترفع من كفاءة المعدات

الإلكترونية وزيادة سرعتها ويمكن تشغيلها عن درجات حرارة منخفضة قد تصل إلى درجة الصفر المطلق.

## ٤-٣) الفيزياء والجيل الثالث للتكنولوجيا:

**البصريات والليزر:**

منذ القدم، تطلع الإنسان إلى الشمس وضوئها الذى كان مألوفاً لديه وأمكنه تمييز ظاهرة الإبصار. وعبر العصور شكل الضوء مادة جدالية عند الفلاسفة. وكما ذكرنا سلفاً فقد افترضا «أقليدوس» و«بطليموس» الاغريقيين فى محاولة منهما لتفسير ظاهراة الإبصار أن العين تطلق شعاعاً بصرياً يتلمس الأجسام فتحدث الرؤية. وظل هذا الاعتقاد الخاطئ سائداً حتى عام ١٠٠٠م، عندما وضع العالم العربى الحسن بن الهيثم نظرية حقيقية ضمنها فى كتابه «المناظر»، وذكر أن الإبصار يتم بواسطة أشعة ضوئية تسقط على الأجسام التى تعكسها بدورها إلى العين وتسبب الرؤية. وقد دحضت هذه النظرية سابقتها، وشكلت بذلك إحدى المراحل الهامة لتفسير طبيعة الضوء وظواهره.

وفى القرن السابع عشر وضع العالم الإنجليزى «اسحاق نيوتن» نظرية الضوء الجسيمية، كما وضع العالم الهولندى «كريستيان هيجنز» نظرية الضوء الموجية. وكما ذكرنا سلفاً، ظهرت تباعاً أعمال عظيمة لعلماء آخرين مثل «يوهانسن كيبلر» و«بليردستيل» وكذلك «رينيه ديسكارتز»، وذلك لدراسة علم البصريات الهندسية بطرق فيزيائية. وفى عام ١٩٠٥م، نجح العالم «ألبرت أينشتين» من وضع نظرية الضوء الكهرومغناطيسية طبقاً لفروض العالم الاسكتلندى «كلارك ماكسويل». وطبقاً لهذه النظرية، عرف الإنسان الطبيعة الإزدواجية للضوء (أى أنه جسيم يمثل بموجة). وهذه الجسيمات التى تؤلف الضوء هى جسيمات نقطية من الطاقة الكهرومغناطيسية النقية تسمى «الفوتونات».

ومن أجل فهم الدور البارز للفيزياء فى تطوير التكنولوجيا البصرية، نستعرض فيما يلى أهم الظواهر الفيزيائية للضوء.

**أ) الانعكاس الضوئى:**

لوحظ أن الضوء عندما يصادف وسطاً شفافاً جديداً أثناء انتقاله، فإن جزءاً منه ينعكس وجزء آخر يستمر فى الانتقال خلال ذلك الوسط الجديد. الجزء الضوئى الذى لم ينعكس عند السطح الفاصل، إما أنه تعرض للامتصاص أو أنه انتقل داخل الوسط الثانى.

والجزء المنعكس يخضع إلى قوانين الفيزياء التى نصت على ما يلى:

( ١ ) زاوية السقوط للشعاع الضوئى تساوى زاوية الانعكاس نسبة إلى الخط العمودى المرسوم على السطح العاكس.

( ٢ ) إذا كان السطح العاكس منتظماً، فإن الضوء المنعكس يكون منتظماً فى انعكاسه.

( ٣ ) إذا كان السطح العاكس غير منتظم، فإن إنعكاس الضوء يكون غير منتظم، ويسمى «بالإنعكاس المشتت».

( ٤ ) يكون الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس جميعهم فى مستوى واحد.

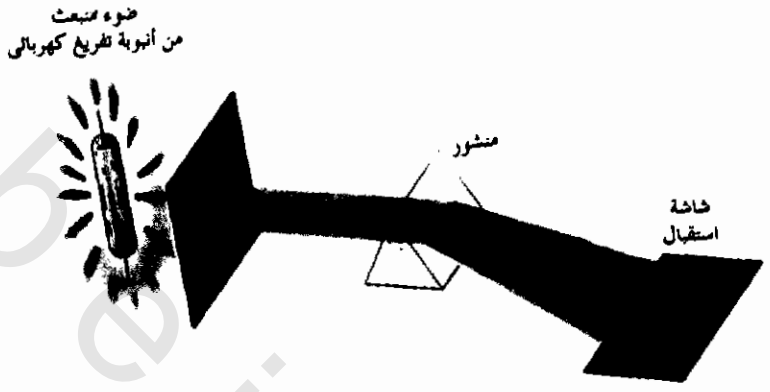
**ب ) الإنكسار الضوئى:**

عندما يصادف الضوء وسطاً يختلف عن الوسط الذى فيه، بحيث يمكنه الانتقال واستمرار الانتشار به، يكون استمراره منحرفاً بميل يعتمد على طبيعة ذلك الوسط، وتسمى الأشعة الضوئية التى دخلت الوسط الجديد بـ«الأشعة المنكسرة». ومقدار انحراف الأشعة المنكسرة يعتمد على ما يسمى بـ«معامل انكسار الوسط» الذى يعرف بالنسبة بين سرعة انتشار الضوء فى الفراغ إلى سرعة انتشاره فى الوسط.

**ج ) الطيف والتحلل الضوئى:**

من الظواهر الطبيعية التى نشاهدها فى فصل الشتاء هى ظاهرة تحلل ضوء الشمس عن طريق قطرات الماء العالقة فى الجو والمعروفة بـ«قوس قزح». وفى عام ١٦٦٦م تمكن العالم «اسحاق نيوتن» من تفسير هذه الظاهرة بتجربة بسيطة برهن بها أن ضوء الشمس الطبيعى هو خليط من الألوان. واستعان نيوتن بـ«منشور زجاجى» وعند إمرار الضوء خلاله عن طريق ثقب موضوع أمام أحد جوانب المنشور حصل على طيف مستمر، وتبين أن الألوان الضوئية متصلة مع بعضها ومواقعها ثابتة بالنسبة إلى ترتيبها.

ومنذ ذلك الوقت، استمر البحث لفهم بصريات التحلل الطيفى وسمى جهاز تحليل ألوان الضوء، بالمطياف، بعد ذلك حل «المخزوز» بدلاً من المنشور. ويستفيد الباحثون من ظاهرة التحلل الطيفى فى دراسة التركيب الدقيق للمواد والعناصر المعروفة فى الطبيعة.




مطياف ضوئى.

**د) نظرية «يونج» للتداخل الضوئى:**

بعد التناقض الذى ظهر بين النظرية الجسيمية والنظرية الموجية للضوء، أجرى العالم «يونج» خلال القرن التاسع عشر تجربته الشهيرة لشرح ظاهرة التداخل الضوئى، وذلك باستخدام ثقبين متقاربين فى لوحة وضعت فى طريق مسار الشعاع الضوئى. وعلى الجانب الآخر لهذه الشريحة وضع شاشة الاستقبال لخارج الأشعة من الثقبين.

وبدلاً من مشاهدة صورة وحيدة حادة لضوء الثقبين كل على حدة كما كان متوقعاً، شاهد سلسلة من الخطوط المتوازية. أثارت هذه الظاهرة الاهتمام، وفسر ذلك ظاهرة التداخل الضوئى الموجى معتمداً على طبيعة الضوء الموجية (وليست الجسيمية). وكانت هذه التجربة مقنعة خاصة بعد تفسير التداخل البناء والتداخل الهدام. وقد دعم العالم الفرنسى «فرنيل» تجربة «يونج» للتداخل الضوئى حين وضع نظرية رياضية تفصيلية، لحساب طول موجة الضوء المرئى وكذلك الأطوال الموجية لألوانه.

**هـ) الحيود الضوئى:**

بعد تجربة «يونج» للتداخل الضوئى، أدخل العالم «جوزيف فراونهوفر» تعديلاً على هذه التجربة واستبدل الثقبين «بالمحزوز». ومن المعروف أن المحزوز عبارة عن وسط شفاف (عادة زجاج) عليه خطوط غير شفافة متوازية ومتقاربة مع بعضها (كأسنان المشط) وما بينها من فواصل تعتبر شروخ تسمح بمرور الضوء. فى هذه الحالة نحصل على تداخل لموجات أكثر، مما حصلنا عليه فى تجربة يونج ذات

الشرخين (أو الثقبين). ولهذا التطوير استخدم المحزوز فى أجهزة التحليل الطيفى للضوء.

**و) طبيعة الموجة:**

هناك عدة نماذج من الموجات تصنف طبقاً لتحرك جزيئات الوسط الحاوى للموجة بالنسبة إلى اتجاه انتشار الموجة. وهذه النماذج هى :

**(١) الموجات الطولية :** فى هذه الحالة، تتحرك جزيئات الوسط الحاوى للموجة فى اتجاه انتشار الموجة ذاتها. مثل الموجات الصوتية، حيث تهتز جزيئات الهواء (بفعل اهتزاز الأوتار الصوتية) فى الاتجاه ذاته الذى تتبعه الموجة الصوتية. فاهتزاز كل جزئية من الهواء بفعل المصدر الأساسى للصوت يتفاعل مع الجزيئة الأقرب فتهتز بدورها... وهكذا! حتى يصل الاهتزاز المذكور إلى السامع دون أن تنتقل جزيئات الهواء من مكانها.

**(٢) الموجة العرضية :** فى هذه الحالة، تهتز جزيئات الوسط باتجاه عمودى نسبة لاتجاه انتشار الموجة، مثل موجات البحر التى تأتى من بعيد فى اتجاه الشاطئ، فهى تنتقل باتجاه أفقى، بينما جزيئات الماء تهتز عمودياً (صعوداً وهبوطاً). وكذلك هو الحال فى موجات الراديو أو الموجات الكهرومغناطيسية عامة.

**(٣) موجات اللىُ :** فى هذه الحالة، تنتقل الموجة بشكل لولبى، بينما يكون سطح الدائرة عمودياً بالنسبة إلى اتجاه تنقل الموجة. تحدث هذه الموجة عند لوى قضيب معدنى حول نفسه، فتنتشر فيه موجة اللىُ.

والجدير بالذكر أن الموجات الضوئية هى موجات مستعرضة وكذلك جميع الموجات الكهرومغناطيسية.

ز) المواصفات الأساسية للموجة :

للموجة مواصفات تحددها فى الزمان والمكان وتميزها عن الموجات الأخرى. وهذه المواصفات هى :

**(١) سعة الموجة (A) :** وتعرف بأنها المسافة القصوى التى تصلها الموجة فى اهتزازها باتجاه ما. فارتفاع موجة فى البحر بالنسبة لسطحه الأفقى يمثل سعة الموجة، ووحدة قياس سعة الموجة هى وحدة مسافات المتر أو أجزاء منه.. إلخ.

**(٢) الدورة (T) :** تعرف الدورة بالزمن الذى تستغرقه نقطة معينة من الوسط، تهتز بفعل الموجة حتى تنطلق سعتها من الصفر إلى القيمة العظمى باتجاه معين ثم تعود مرة أخرى إلى الصفر ومنه إلى القيمة العظمى فى الاتجاه المعاكس ثم تعود

مرة أخرى إلى الصفر، هذا الزمن يسمى «دورة الموجة» (الزمن الدورى)، ووحدة القياس هى الثانية.

**(٣) التردد** (F) : هو عدد الدورات الاهتزازية للموجة فى الثانية الواحدة. وهذا العدد قد لايكون عدداً صحيحاً. والتردد يساوى مقلوب الدورة ووحدة القياس هى $\frac{\text{عدد الدورات}}{\text{ثانية}}$ أو مايسمى بالهرتز نسبة للعالم هرتز.

**(٤) الطول الموجى** ($\lambda$) : هو المسافة التى تقطعها الموجة فى الوسط الذى تنتقل فيه وفى فترة زمنية تساوى زمن الدورة. أى أن الطول الموجى هو المسافة بين قمتين متتاليين بالموجة أو قاعين متتاليين أو أى نقطتين متتابعتين بها ووجد أن :

سرعة انتشار الموجة فى الوسط = **التردد** × الطول الموجى

**(٥) الطور الموجى** : هو المسافة الزمنية التى تفصل بين موجة وأخرى.

ز ) الموجات الكهرومغناطيسية :

لم تفسر نظرية يونج طبيعة الموجات الضوئية التى بقيت غامضة لحين مجئ العالم الاسكتلندى «كلارك ماكسويل» كما ذكر سلفاً.

لاحظ ماكسويل إنبعاث خطوط القوى التى تمثل خطوط المجال الكهربائى فى كافة الاتجاهات، كما لاحظ أن هذه الخطوط التى تمثل شدة المجال الكهربائى حول الشحنة الكهربية يصيبها إعوجاج عند زعزعة الشحنة. ويعتبر الإعوجاج الحاصل بمثابة مؤشر عن تحرك الشحنة. وعندما تتحرك الشحنة بطريقة دورية (أى إلى أعلى وإلى أسفل) وباستمرار، فإن الخطوط المعوجة تأخذ شكل موجات مستمرة على خطوط المجال الكهربائى المنبعثة من الشحنة. وأن هذه الموجات تنتقل بسرعة تساوى سرعة الضوء. والجدير بالذكر أنه فى عام ١٨٧٣م وضع ماكسويل فروض نظريته الكهرومغناطيسية التى تصف هذه المسألة. واستنتج ماكسويل وجود موجات كهرومغناطيسية، والمجالات المتغيرة فيها تولد مجالات أخرى محاذية إليها. وأن هذه الاضطرابات تنتقل فى الفضاء بسرعة تساوى ٣ × ٨١٠ متر / ثانية. وهذه القيمة تساوى سرعة انتشار الضوء فى الفراغ.

والموجات الكهرومغناطيسية تمتلك كافة الخصائص المعروفة للموجات الضوئية. إذ، الضوء هو نوع من الاشعاعات الكهرومغناطيسية التى لاحظها ماكسويل، ولكن ذو طول موجى معين. إن انتقال (انتشال) الموجات يتضمن تغير المجال المغناطيسى الذى يولد مجالاً كهربائياً متغيراً. وإن هذا الأخير بدوره يولد مجالاً مغناطيسياً متغيراً... وهكذا ! إذاً، انتقال الموجة الكهرومغناطيسية هو

انتقال المجال الكهربى والمجال المغناطيسى فى الفضاء، وأن كلا المجالان متعامدان على اتجاه انتشار الموجة.

والجدير بالذكر أنه فى عام ١٨٨٨م، تمكن العالم «هنرى هرتز» من تحقيق فروض ماكسويل عملياً وتوليد الموجات الكهرومغناطيسية. وأوضح أن الموجات الكهرومغناطيسية تسلك سلوكية الضوء من حيث الإنعكاس والانكسار والتداخل والجهود وكذلك الإستقطاب، وبهذه الطريقة برهن هرتز أن الضوء هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسى.

**ن) الطيف الكهرومغناطيسى:**

تتشابه الموجات الكهرومغناطيسية المؤلفة للطيف الكهرومغناطيسى بالخواص ولكنها تختلف بطول موجتها وترددها وطريقة توليدها، على سبيل المثال، موجات الراديو والتليفزيون والموجات الدقيقة التى تتراوح أطوالها الموجبة بين ٢٠٠٠٠ متر نازلاً حتى جزء من السنتيمتر. أما الموجات تحت الحمراء غير المرئية فإن أطوالها الموجية تمتد من جزء من السنتيمتر وحتى ٨٠٠٠ انجستروم (واحد انجستروم = ١٠^-١٠ المتر).

أما الضوء المرئى فيمتد من ٨٠٠٠ انجستروم وحتى ٣٠٠٠ انجستروم، والأشعة فوق البنفسجية غير المرئية تقترب من ٥٠ انجستروم، أما الأشعة السينية (أشعة اكس) التى منشأها اضطرابات فى التركيب الإلكترونى للذرة، فيمتد إلى مقدار ٠,٣ انجستروم. وأخيراً أشعة جاما التى مصدرها اضطراب فى نواة الذرة فإن طولها الموجى يصل إلى ١٠^-٥ انجستروم.

**ل) النظرية الفوتونية:**

بقيت النظرية الكهرومغناطيسية سائدة حتى نهاية القرن التاسع عشر، واعتقد العلماء حينذاك أن كل شئ عن الضوء والبصريات بات معروفاً. إلا أن اختبار الإنبعاث الكهروضوئى أعاد موضوع الضوء إلى بساط البحث مرة أخرى. وقد برهن العالم «ألبرت اينشتين» أن الضوء لايحتاج إلى وسط لانتقاله، كما أضاف فكرة جديدة وهى أن الضوء له طبيعة موجية وجسيمية. ومغزى هذه الفكرة أن طاقة الشعاع الضوئى تكون محصورة فى رزم (ضمات) صغيرة سميت «بالفوتون». مع احتفاظ هذا الفوتون بمواصفات التردد والطول الموجى وباقى مواصفات الموجة الكهرومغناطيسية. وأعطى طاقة تتناسب مع التردد الموجى مقدارها E =hf، حيث تمثل h ثابت عام سمى «ثابت بلانك» وحددت قيمته بالمقدار ٦,٦٢٤ x ١٠^-٣٤ جول فى الثانية.

بعد ذلك، جاءت اختبارات العالمان ميليكان وكومبتون عن تصادم الفوتون بالإلكترون وثبوت أن الفوتون شبيه بالمادة وله طاقة حركية وعزم.

بعد كل ما تقدم، قد يتساءل المرء عن ماهية الضوء؟ هل هى طبيعة تستنج من البصريات الهندسية أم كهرومغناطيسية أم فوتونية؟ فالنظرية الهندسية للضوء لاتشكل أى معضلة علمية فهى تقرب الموضوع دون الدخول فى تفاصيله ولاتناقض النظرية الكهرومغناطيسية التى تستطيع شرح كل قواعدها.

ولكن تبقى البصريات الهندسية فقط لشرح الاختبارات الضوئية البسيطة.

أما المشكلة الرئيسية والكبيرة فتتعلق بحل التناقض العلمى الصريح بين النظريتين الكهرومغناطيسية والفوتونية. فالنظرية الكهرومغناطيسية تعجز عن شرح تفاعلات الضوء مع المادة، مثل الانبعاث الكهروضوئى (الفوتو - إلكترونى)، والنظرية الفوتونية تعجز هى أيضاً عن تفسير عامل التداخل والخيود الضوئيين، ولذلك قرر العلماء اعتماد مبدأ الازدواجية فى طبيعة الضوء الكهرومغناطيسية والفوتونية. تستعمل الأولى فى كل مايتعلق بانتشار الضوء وتفاعلاته، أما الثانية فتستخدم عند دراسة تبادل الطاقة بين الضوء والمادة.

**ك) أشعة الليزر وتطبيقاتها:**

فى بداية الستينيات من القرن العشرين، حقق الفيزيائيون حلمهم وتمكنوا من توليد أشعة الضوء المميزة التى أطلقوا عليها اسم «الليزر». هذا الاسم مشتق من المصطلح الانجليزى:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

ويعنى باللغة العربية: «التضخيم الضوئى بواسطة الانبعاث التحريضى (الحثى) للاشعاع».

ويعود الفضل فى فهم فيزياء الليزر إلى العالم الفيزيائى «البرت اينشتين» الذى تمكن من شرح فكرة إنتاج أشعة ضوئية من ذرات المواد المختلفة عن طريق تحريضها (حثها) فوتونياً، وكما نعرف من قوانين الفيزياء الحديثة، أن ذرات المواد تتكون من مناسيب طاقية مختلفة قد تتواجد بها الإلكترونات ويمكن تمثيلها بخطوط أفقية.

وطبقاً لنظرية الانتقال الإلكترونى، وعند هبوط الإلكترونات فى الذرات المتهيجة (المستثارة) إلى منسوب طاقة أوطأ، فى هذه الحالة ينبعث ضوء (أو فوتون)، يعتمد طوله الموجى على الفرق بين المناسيب الطاقية التى يتحرك بينها الإلكترون.

واستكمالاً لطبيعة الضوء التى سبق ذكرها، استطاع اينشتين أن يبرهن على أن الضوء لايحتاج إلى وسط كما هو فى انتقال الموجات الصوتية. كما وضع فكرة جديدة لتفسير السلوك الضوئى تبعاً للنظرية الموجية والجسيمية معاً. ونجح فى تفسير ظاهرة الإنبعاث الكهروضوئى الذى كان لها بالغ الأثر فى الربط بين الأشعة الكهرومغناطيسية والانتقالات الإلكترونية بين المناسيب الطاقية فى الذرات.

والجدير بالذكر أنه أشار فى دراسته حول إمكانية حدوث الانتقالات الإلكترونية طبقاً للعمليات الآتية :

أولاً : عملية الامتصاص

فى هذه العملية يتم ضخ الإلكترونات وهى فى مستوى الاستقرار (المستوى الأرضى وهو أقل منسوب طاقى بالذرة) بطاقة كافية يمتصها الإلكترون وينتقل بها إلى مناسيب طاقية متهيجة بالذرة.

ثانياً : عملية الانبعاث التلقائى للأشعة

فى هذه العملية يعود الإلكترون بعد فترة وجيزة من منسوب الطاقة المتهيج إلى مستوى الاستقرار بالذرة بطريقة تلقائية، دون أى مؤثر خارجى. ويصاحب ذلك إنبعاث فوتون بطاقة مساوية للفرق بين هذين المنسوبين.

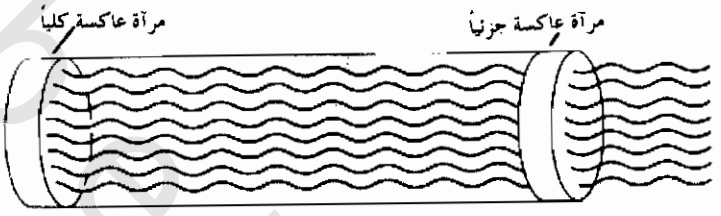
ثالثاً : الانبعاث التحريضى (المستحث) للاشعاع

فى هذه العملية يمكن تحريض الإلكترون المتهيج من العودة إلى مستوى طاقة أقل بالذرة باستخدام أشعة ضوئية محرضة. والشرط الرئيسى لاتمام العملية أن يكون طاقة الفوتون المحرض مساوية للفرق بين مناسيب الطاقة التى ينتقل بينها الإلكترون.

فى ذلك الوقت، تمكن العلماء من التحقق عملياً من العمليتين الأولى والثانية بينما لم يستطعوا من مشاهدة ظاهرة الانبعاث بطريقة التحريض الضوئى وذلك لأسباب عديدة نذكر منها ضعف شدة الكثافة الإشعاعية المتولدة بالتحريض.

واستطاع الفيزيائيون فى وقت لاحق من التغلب على هذه المعضلة العلمية عن طريق تضخيم الأشعة المحرضة بواسطة المركبات البصرية. والآن أمكن توليد أشعة الليزر المميزة لتغطى المدى الطيفى المرئى وغير المرئى للموجات الكهرومغناطيسية. وتم تصنيع أنواع عديدة من مولدات الليزر فى حالات المادة الأربعة : الصلبة والغازية والسائلية والبلازمية. وبدون الدخول فى التعقيدات التكنولوجية يتكون أى جهاز كمولد لأشعة الليزر من أربع وحدات أساسية هى :

١ ) وحدة وعاء الليزر : يحتوى هذا الوعاء على المادة الفعالة التى تولد الضوء. وبين طرفيه يوجد مرآتان أحدهما عاكسة بنسبة ١٠٠٪ والأخرى عاكسة جزئياً وذلك لتوفير شرط الحصول على معامل كسب إشعاعى كبير.




وعاء الليزر يبين التوافق الضوئى للأشعة المولدة

٢ ) وحدة الطاقة : وهى توفر الطاقة اللازمة لتهيج الذرات فى المادة الفعالة.

٣ ) وحدة نقل الطاقة : وهى الوحدة المسئولة عن توفير الوسيلة المناسبة لضخ الطاقة إلى المادة الفعالة.

٤ ) وحدة التبريد : وهى ضرورية لتبريد الجهاز من الحرارة المتولدة أثناء التشغيل. وقد يكون التبريد هوائى أو مائى أو باستخدام الكيروسين... إلى آخره.

ويتميز شعاع الليزر عن الضوء التقليدى بأربع خصائص هى :

أ ) شدة الكثافة الضوئية.

ب ) كفاءة التوجيه الضوئى.

جـ ) أحادى اللون.

د ) التوافق الموجى.

فضوء الليزر يكون مكثفاً ويصدر على هيئة حزم ضوئية ضيقة يسهل توجيهها باستخدام المرايا، ويعتمد لونها على المادة الفعالة المستخدمة، كما تكون موجاتها الضوئية متوافقة فى الطور الموجى.

ونظراً للخصائص الفريدة المميزة لأشعة الليزر فقد اطلق عليها العلماء شعار «الحل الذى يبحث عن مشكلة»!.

وحالياً يستخدم الليزر فى العديد من التطبيقات فى شتى المجالات نذكر منها على سبيل المثال وليس الحصر ما يلى :

**أولاً: المجالات الصناعية:**

يستخدم الليزر فى العمليات الصناعية الآتية بكفاءة عالية

( ١ ) القص ( ٢ ) اللحام ( ٣ ) التثقيب

( ٤ ) القطع والإزالة ( ٥ ) التبخير ( ٦ ) المعالجة الحرارية

( ٧ ) الصناعات الإلكترونية الدقيقة

( ٨ ) التصميم والتفصيل

**ثانياً: المجالات الزراعية:**

يستخدم الليزر فى تطوير الخدمات الزراعية الآتية :

( ١ ) تسوية الأراضى الزراعية

( ٢ ) المعالجة الجينية للمحاصيل

( ٣ ) الهندسة الوراثية

**ثالثاً: المجالات الطبية:**

يستخدم الليزر الآن وبكفاءة فى أغراض التشخيص والعلاج نذكر منها مايلى :

( ١ ) علاج أمراض العين (مثل لحام الشبكية وعيوب القرنية ) .

( ٢ ) معالجة الزوائد اللحمية الداخلية .

( ٣ ) تشخيص واستئصال بعض الأورام السرطانية .

( ٤ ) انتفاخ الأوعية الدموية عند المصابين بمرض السكر .

( ٥ ) الجراحة العامة .

( ٦ ) عمليات التجميل والتكميل وإزالة النمش والوشم .

( ٧ ) أمراض الأذن والحنجرة .

( ٨ ) المناظير الطبية .

( ٩ ) تفتيت حصوات الكلى .

**رابعاً: علوم الفضاء والاتصالات:**

تستخدم أشعة الليزر عبر الأقمار الصناعية فى مجالى :

( ١ ) الاتصالات ( ٢ ) القياسات الدقيقة .

**خامساً: فى المجالات الهندسية والبيئية:**

يستخدم الليزر فيما يلى :

( ١ ) قياس المسافات والمساحات بدقة .

( ٢ ) قياس تدفق السوائل .

( ٣ ) قياس الحركات الدورانية والدوامية .

( ٤ ) قياس السرعات.

( ٥ ) ميكانيكا الجزيئات.

( ٦ ) قياس تلوث البيئة.

**سادساً: مجال الفنون:**

يستخدم الليزر فى التطبيقات الآتية :

( ١ ) الطباعة الدقيقة.

( ٢ ) التصوير المجسم.

( ٣ ) النقش وتقطيع السيراميك.

**سابعاً: التسلية:**

يستخدم الليزر فى التطبيقات الآتية :

( ١ ) التسجيلات الفلمية والصوتية.

( ٢ ) تشفير الأصوات الموسيقية إلى شفرات ضوئية.

**ثامناً: المعلومات:**

يستخدم الليزر فى مجال تخزين المعلومات واسترجاعها وكذلك فى الماكينات الحاسبة بالمحلات التجارية للتحكم فى قوائم البيع.

**تاسعاً: الخدمات الاجتماعية ومكافحة الإجرام:**

يستخدم الليزر فى التطبيقات الآتية :

( ١ ) مساعدة المكفوفين.

( ٢ ) أجهزة الإنذار لأغراض الحراسة.

( ٣ ) تحصيل البصمات وتسجيلها رقمياً.

**عاشراً: المختبرات التعليمية فى المدارس والجامعات:**

**حادى عشر: البحوث العلمية:**

يستخدم الليزر فى مجال تطوير البحوث فى العلوم الأساسية الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وفى بحوث الطاقة وتطوير علوم المواد.

اثنى عشر : العلوم العسكرية :

يستخدم الليزر فى التطبيقات العسكرية الآتية :

( ١ ) رصد وتحديد الأهداف.



obeikandl.com

( ٢ ) التوجيه والتحكم الصاروخى .

( ٣ ) أعمال المناورات .

( ٤ ) الإنذار المبكر .

( ٥ ) الاتصالات .

( ٦ ) الرادار .

والآن ، ونحن على أعتاب القرن الحادى والعشرين يبذل الفيزيائيون الجهود المضنية من أجل تصنيع ليزرات عملاقة تستخدم فى توليد الطاقة النظيفة ( طاقة الاندماج النووى ) . فقد يشهد المستقبل القريب تحقيق حلم البشرية فى توفير الطاقة والحفاظ على البيئة الخالية من التلوث فى آن واحد .

obeikandl.com